

PROGRAM

1. Wody kontynentalne i obieg wody
2. Charakterystyka rzek i jezior
3. Kontynentalne zasoby wodne i ich użycie
4. Podstawy oceny jakości wód
5. Antropogeniczne zmiany fizyczne w zlewni, rzekach i jeziorach
6. Związki biogenne w wodach powierzchniowych i eutrofizacja
7. Metale i chemikalia w wodach powierzchniowych

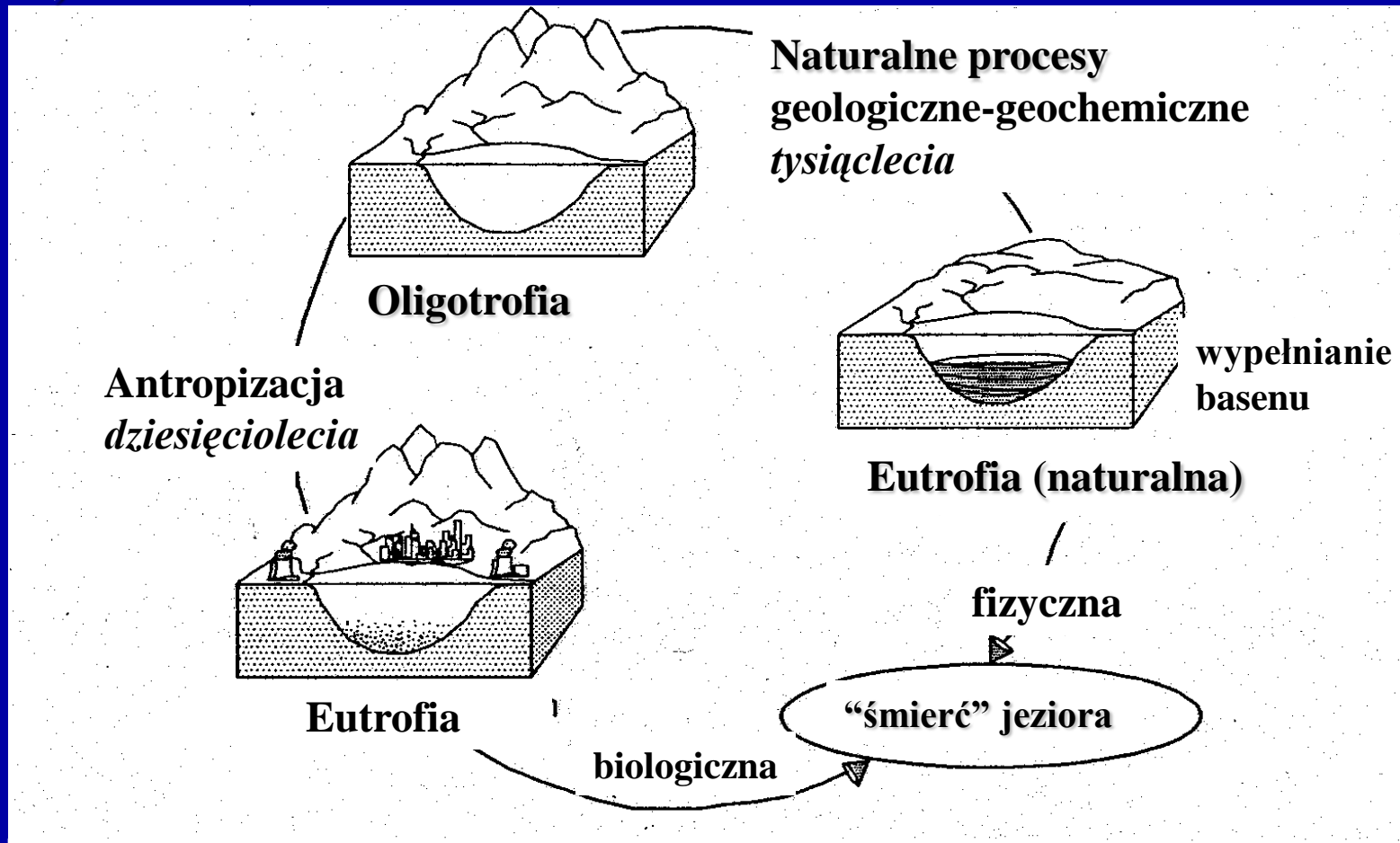
6. Związki biogenne w wodach powierzchniowych i eutrofizacja

- **Definicje eutrofizacji**
- **Koncept pierwiastka limitującego**
- **Wzbogacenie w związki biogenne; modele**
- **Stan troficzny i klasyfikacja**
- **Formy fosforu i azotu**
- **Naturalne i antropiczne źródła fosforu i azotu**
- **Konsekwencje eutrofizacji dla jakości wód kontynentalnych**
- **Metody oceny jakości**

1. Definicje eutrofizacji

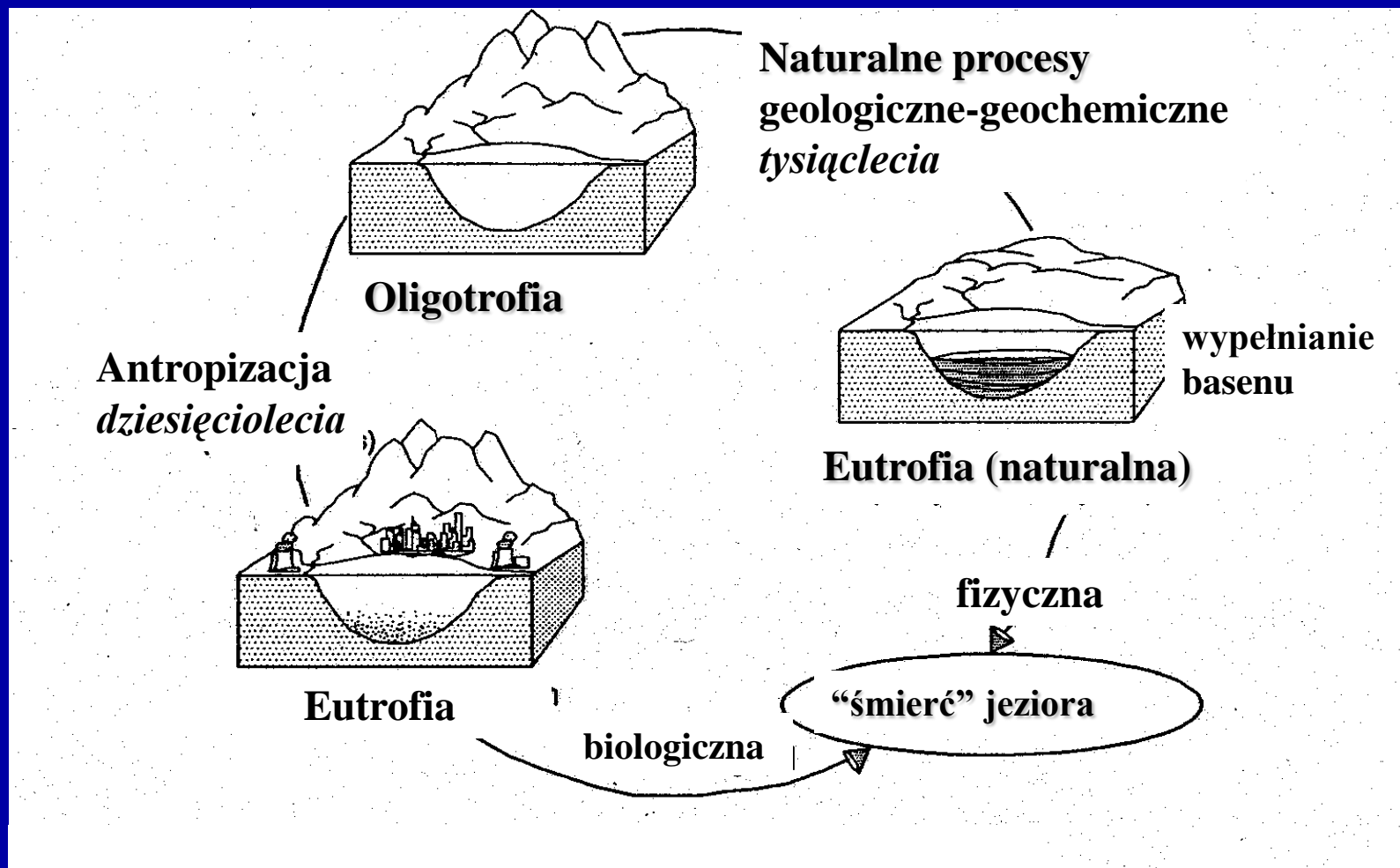
Eutrofizacja to... zmiana w produktywności jeziora posuwająca się w sposób ciągły od niskich do wysokich wartości... (Wetzel 2001)

Eutrofizacja to... odpowiedź biologiczna na nadmiar ładunku substancji biogennych wprowadzonych do jeziora (Chapman, ed. 1996)



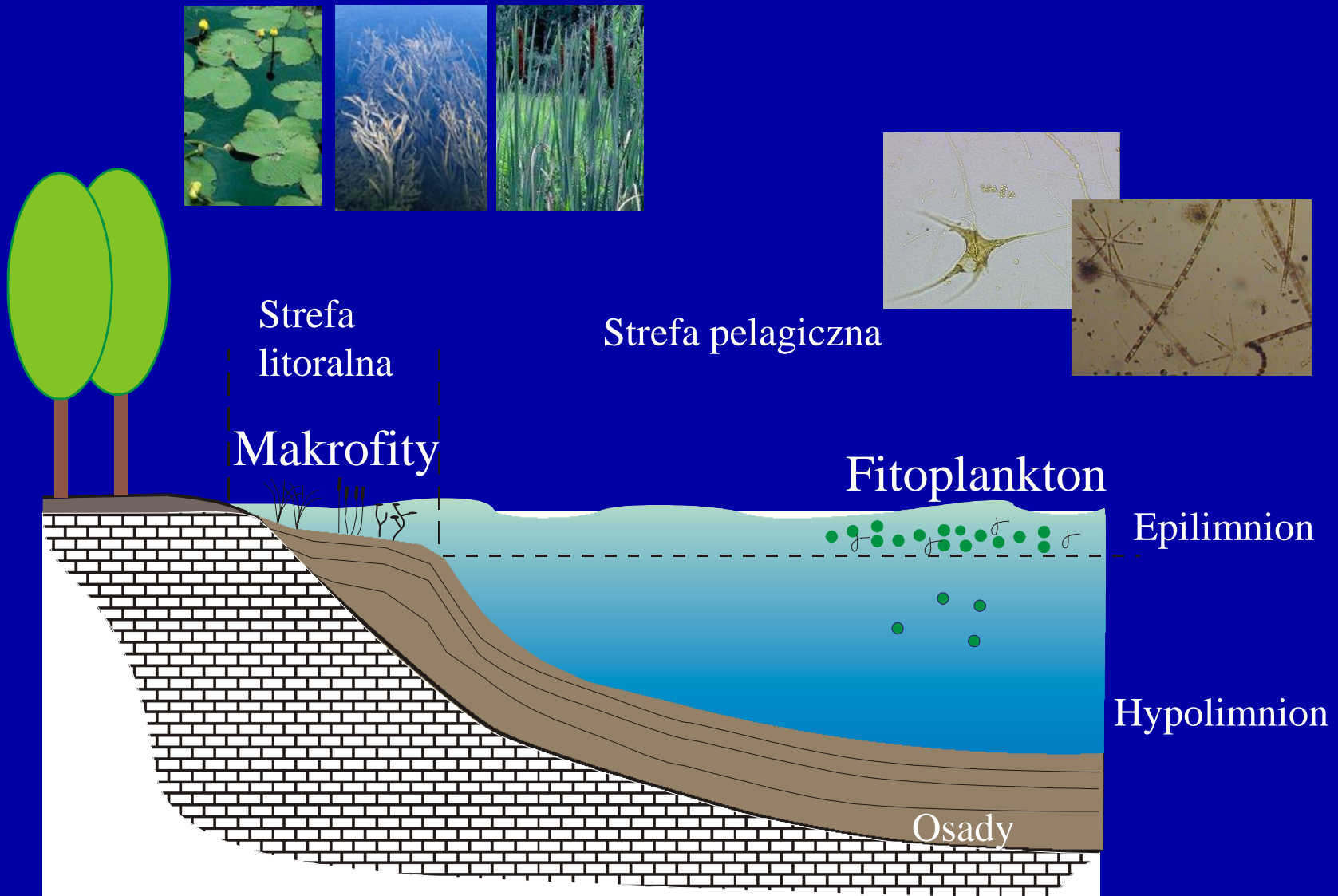
Ale... eutrofizacja dotyczy też rzek (zwłaszcza dużych) i przybrzeżnych stref morskich.

Eutrofizacja jest procesem naturalnym, ale została ogromnie przyspieszona przez antropiczne zwiększenie ładunku fosforu.



- Stan troficzny i klasyfikacja

Rośliny (producenci pierwotni)



Pierwiastkiem limitującym jest ten, który zostaje pierwszy wyczerpany w wodzie, w strefie produkcji. Dodanie go do tej strefy zwiększa produkcję pierwotną.

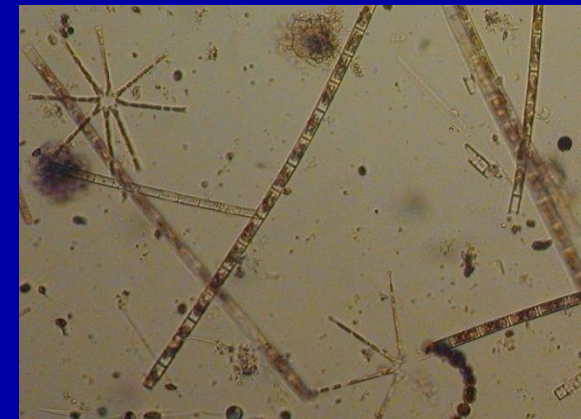
Zwykle związkiem limitującym w wodach kontynentalnych jest PO_4^{-3} . W oceanie zwykle NO_3^- ale czasem też Fe lub Si

W glonach i w wodzie oceanu:

$\text{C:N:P} = 40:7:1$
(stosunek wagowy)

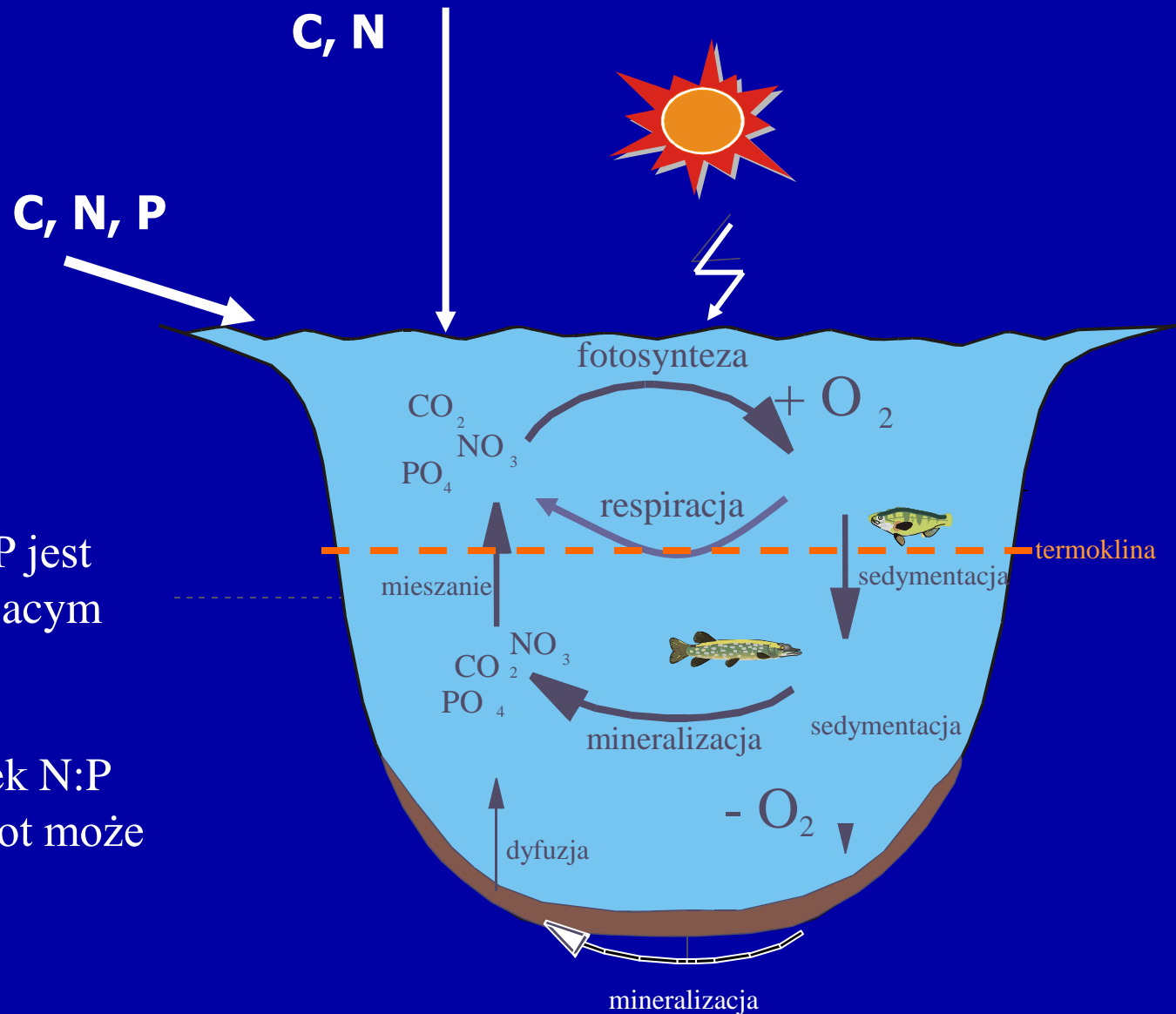
$\text{C:N:P} = 106:16:1$
(stosunek molowy)

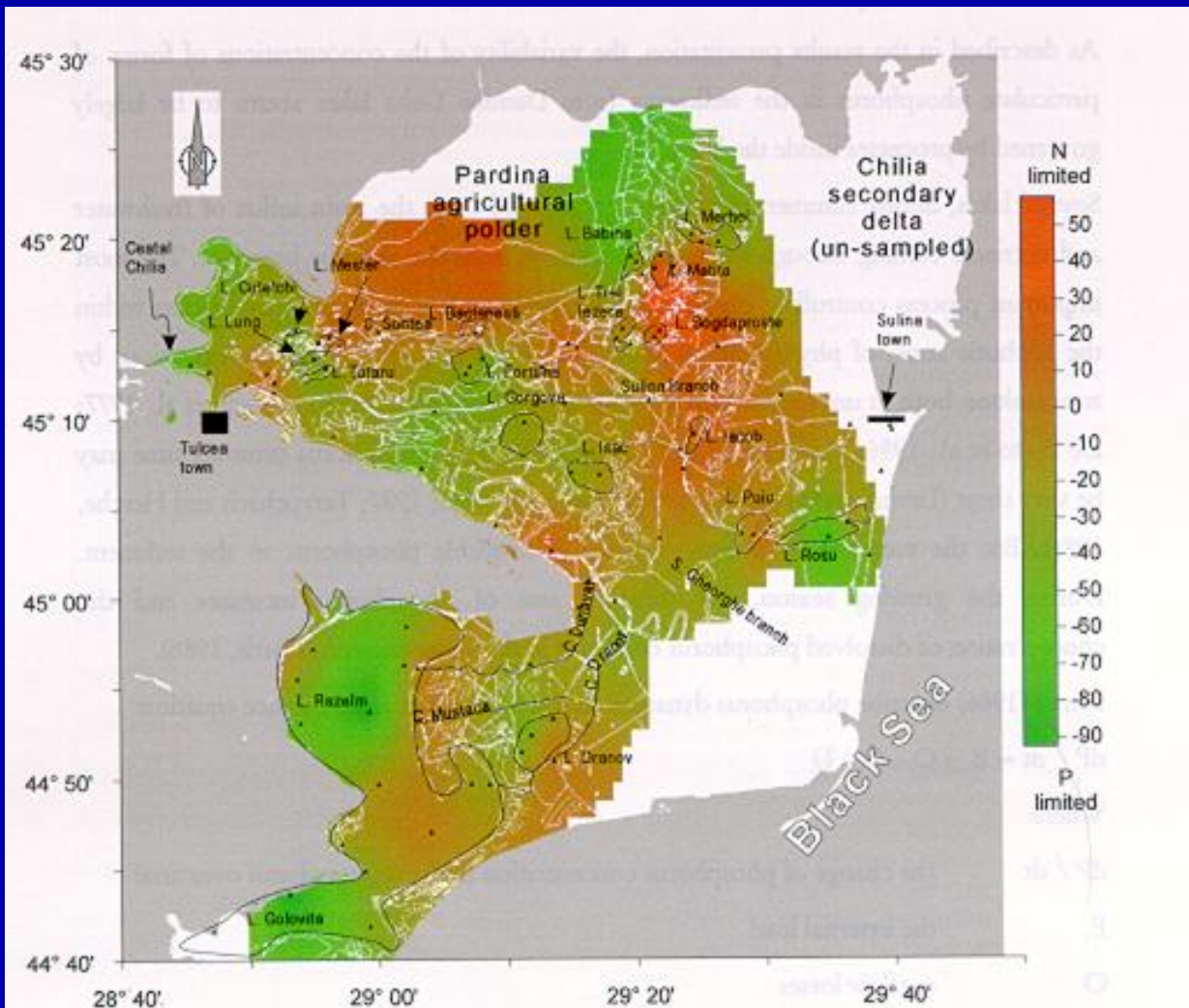
Redfield et al. (1963)



W większości jezior P jest pierwiastkiem limitującym produkcji pierwotną

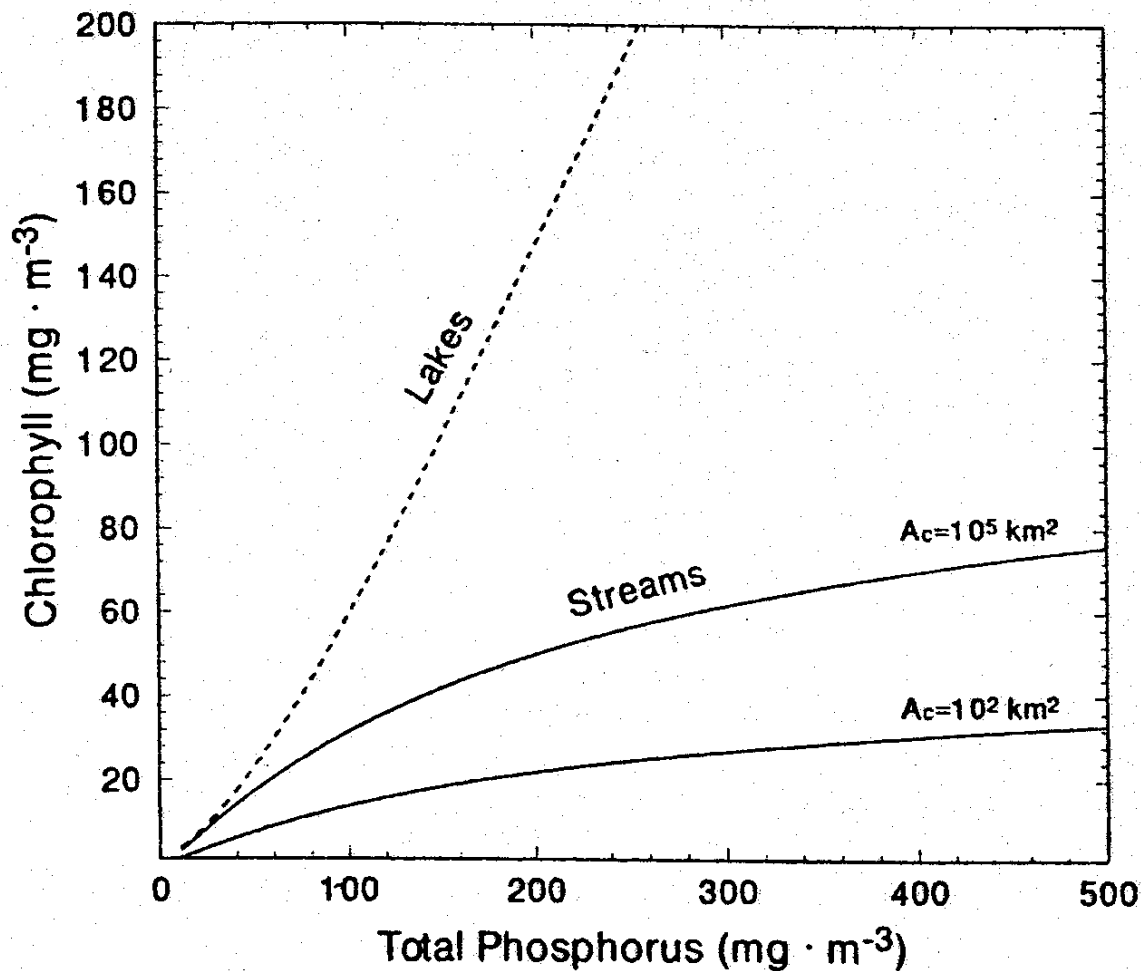
Gdy wagowy stosunek N:P w wodzie jest < 7 , azot może być pierwiastkiem limitującym.





Jeziora w Delcie
Dunaju, w których
P (kolor zielony) lub
N (kolor czerwony)
jest limitującym
pierwiastkiem

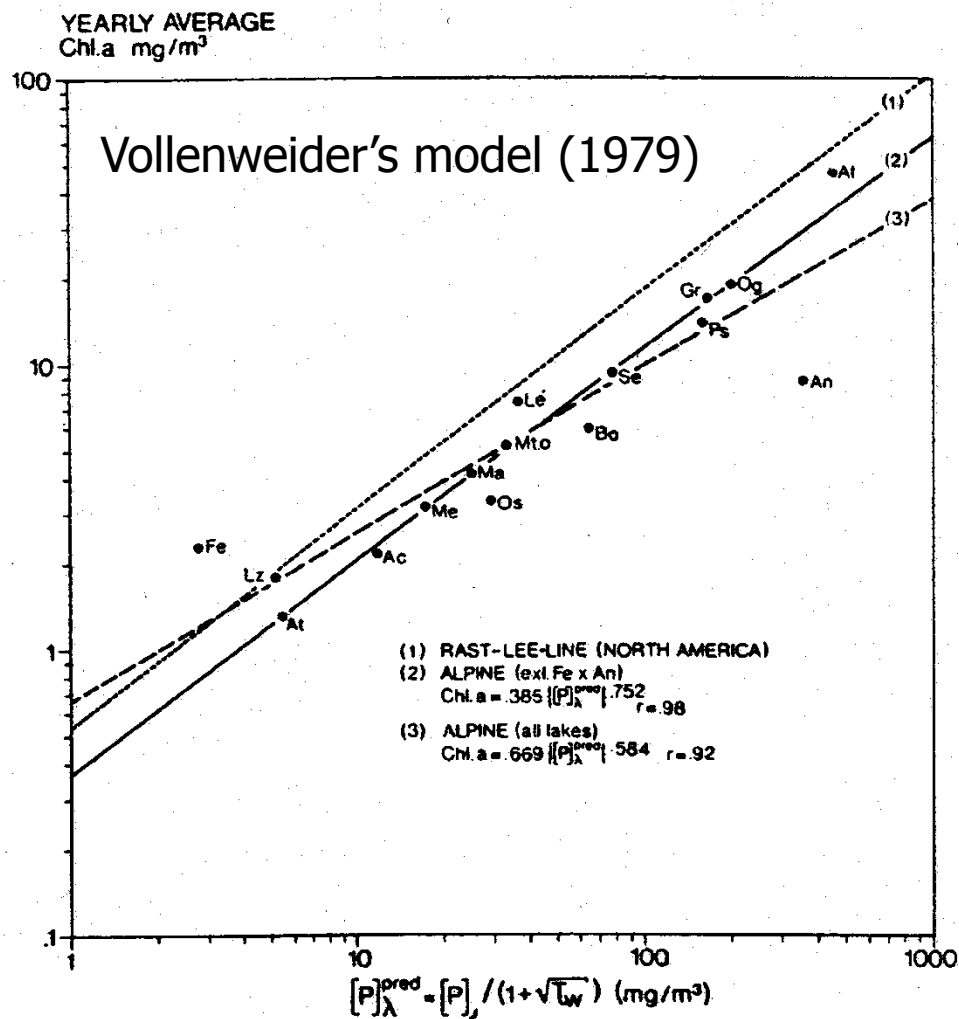
Bostan 1999



Zależność między zawartością fosforu i chlorofilu w rzekach i jeziorach strefy umiarkowanej.

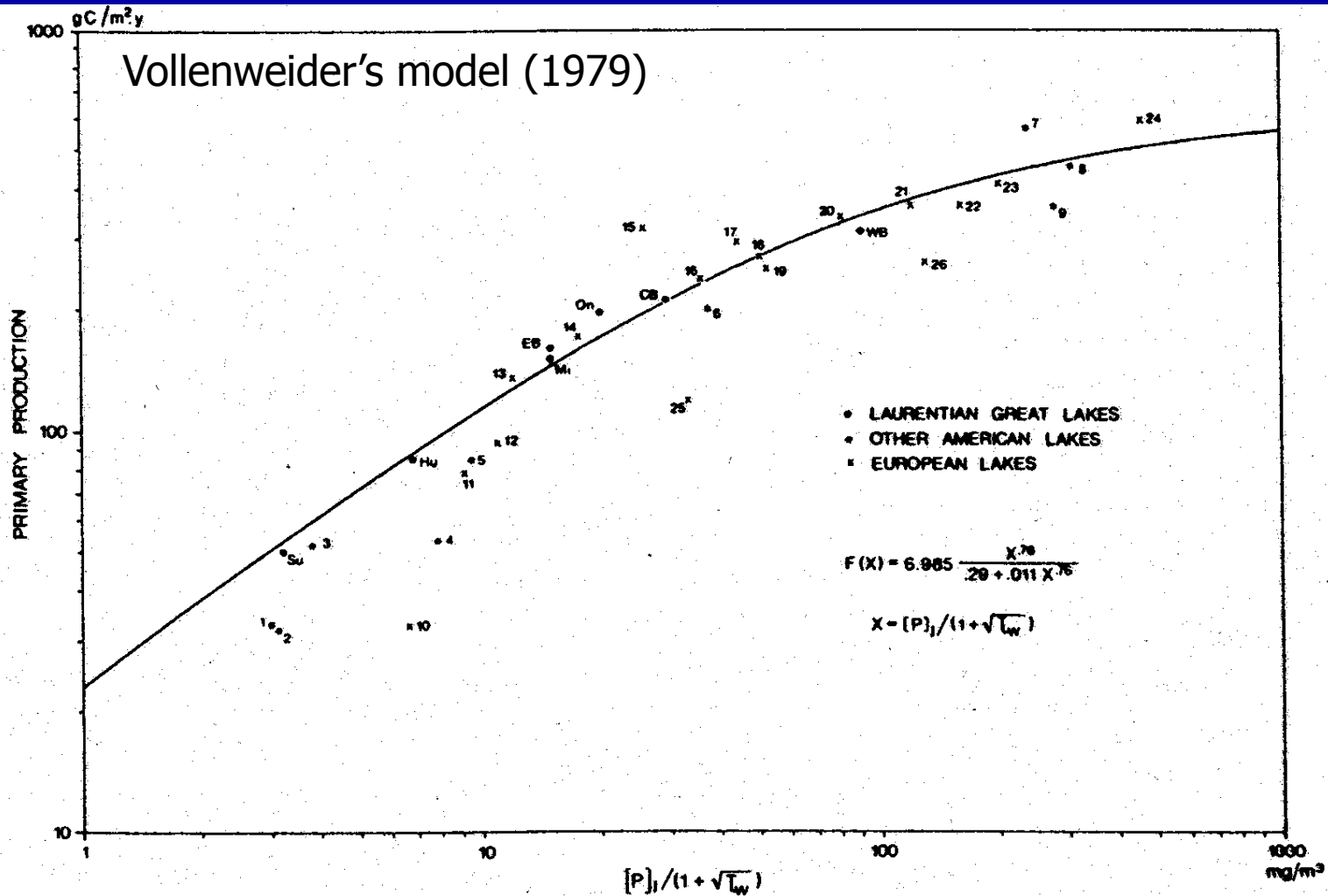
A_c - powierzchnia zlewni rzek

Linia przerywana: zależność dla jezior w których P jest pierwiastkiem limitującym ($N:P > 25$)



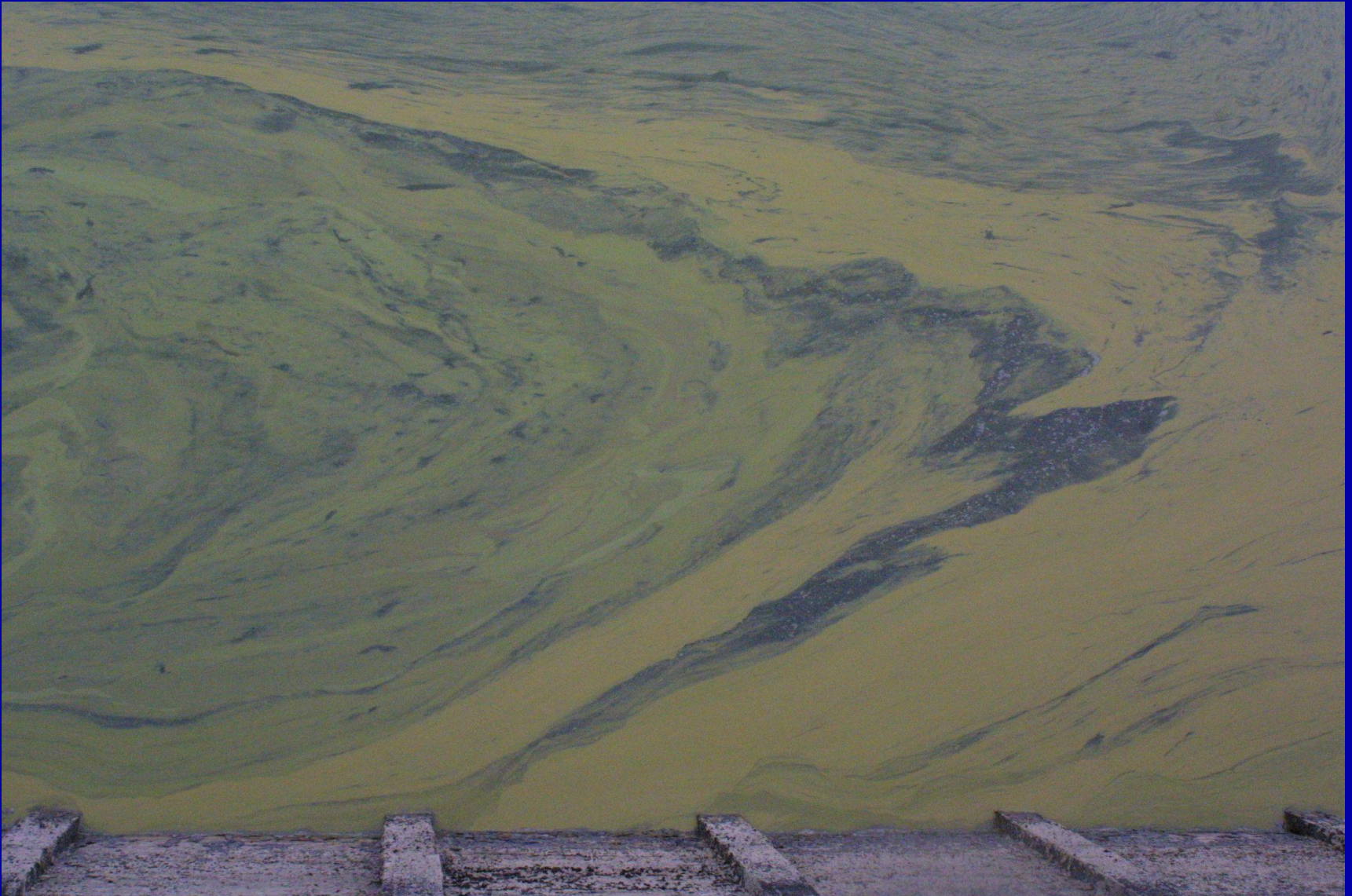
Wzbogacenie w związki
biogenne; modele

Zależność statystyczna między obliczoną z modelu zawartością fosforu całkowitego $[P]_{\lambda}^{pred}$ i średnią zawartością chlorofilu-a w jeziorach.



Roczna produkcja pierwotna ($\text{g C m}^{-2} \text{rok}^{-1}$) w zależności od wyliczonej z modelu zawartości fosforu w jeziorach.

- Stan troficzny i klasyfikacja



- Stan troficzny i klasyfikacja

Klasyfikacja troficzna jezior i zbiorników (wg Vollenweider'a 1979, zmodyfikowana przez Wenzel'a 2001)

Wskaźnik (średnia roczna)	Oligotrofia	Mezotrofia	Eutrofia	Hipertrofia
Fosfor całkowity (mg m^{-3})				
średnia	8,0	26,7	84,4	
przedział	3,0-17,7	10,9-95,6	16-389	750-1200
Azot całkowity związany (mg m^{-3})				
średnia	661	753	1875	
przedział	307-1630	361-1387	393-6100	
Chlorofil-a (mg m^{-3})				
średnia	1,7	4,7	14,3	
przedział	0,3-4,5	3-11	3-78	100-150
Chlorofil-a roczne maksimum (mg m^{-3})				
średnia	4,2	16,1	42,6	
przedział	1,3-6	4,9-49,5	9,5-275	
Głębokość Secchi (przejrzystość) (m)				
średnia	9.9	4.2	2.45	
przedział	5.4-28.3	1.5-8.1	0.8-7	0.4-0.5

Dane zebrane w międzynarodowym programie (OCDE). Zakwalifikowanie do stanu troficznego oparte na opinii ekspertów badających jeziora.

- Stan troficzny i klasyfikacja

“Dozwolony ” i “niebezpieczny” ładunek specyficzny azotu i fosforu (formy biochemicznie aktywne) w $\text{g m}^{-2} \text{rok}^{-1}$

	Dozwolony ładunek		Niebezpieczny ładunek	
Średnia głębokość (m)	N	P	N	P
5	1,0	0,07	2,0	0,13
10	1,5	0,10	3,0	0,20
50	4,0	0,25	8,0	0,50
100	6,0	0,40	12,0	0,80
150	7,5	0,50	15,0	1,00
200	9,0	0,60	18,0	1,20

Procedura ekstrakcji form fosforu z osadu lub zawiesiny

Wg Williams'a et al. (1976) zmodyfikowany przez Burrus'a (1984)

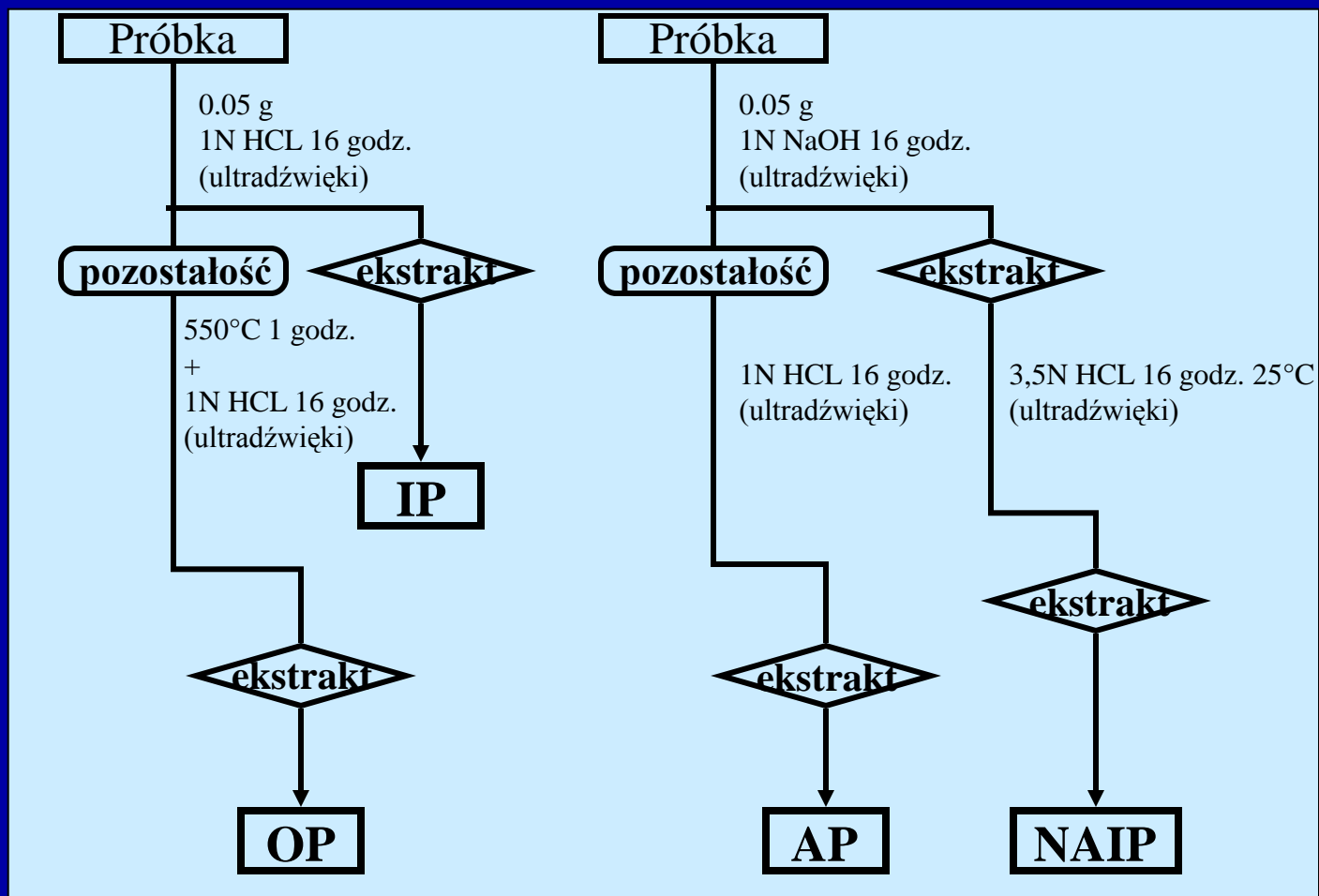
Formy fosforu

W roztworze :

Fosforany PO_4^{-3}
 Polifosforany
 Fosfor organiczny

W fazie stałej (zawiesina, osad):

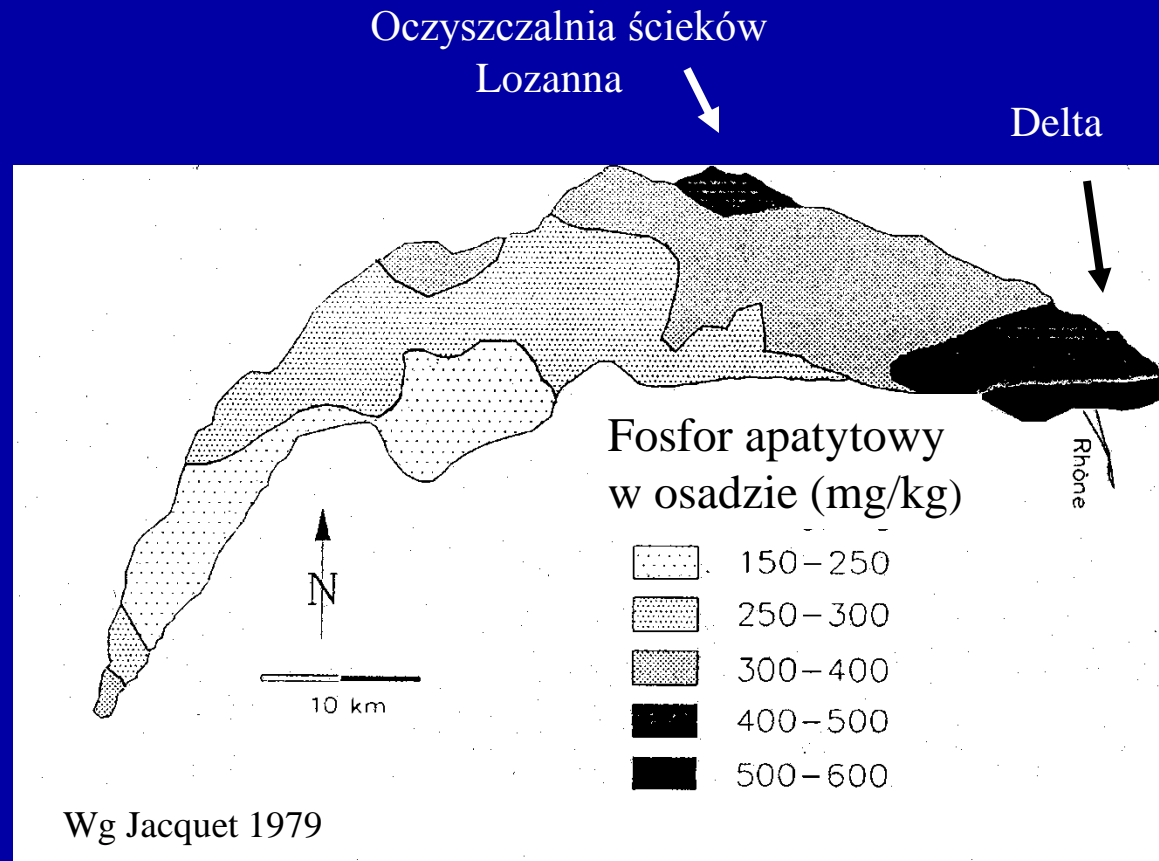
Apatyt (AP)
 Fosfor organiczny (OP)
 Fosfor mineralny nie-apatytowy (NAIP)
 (non-apatitic inorganic phosphorous)

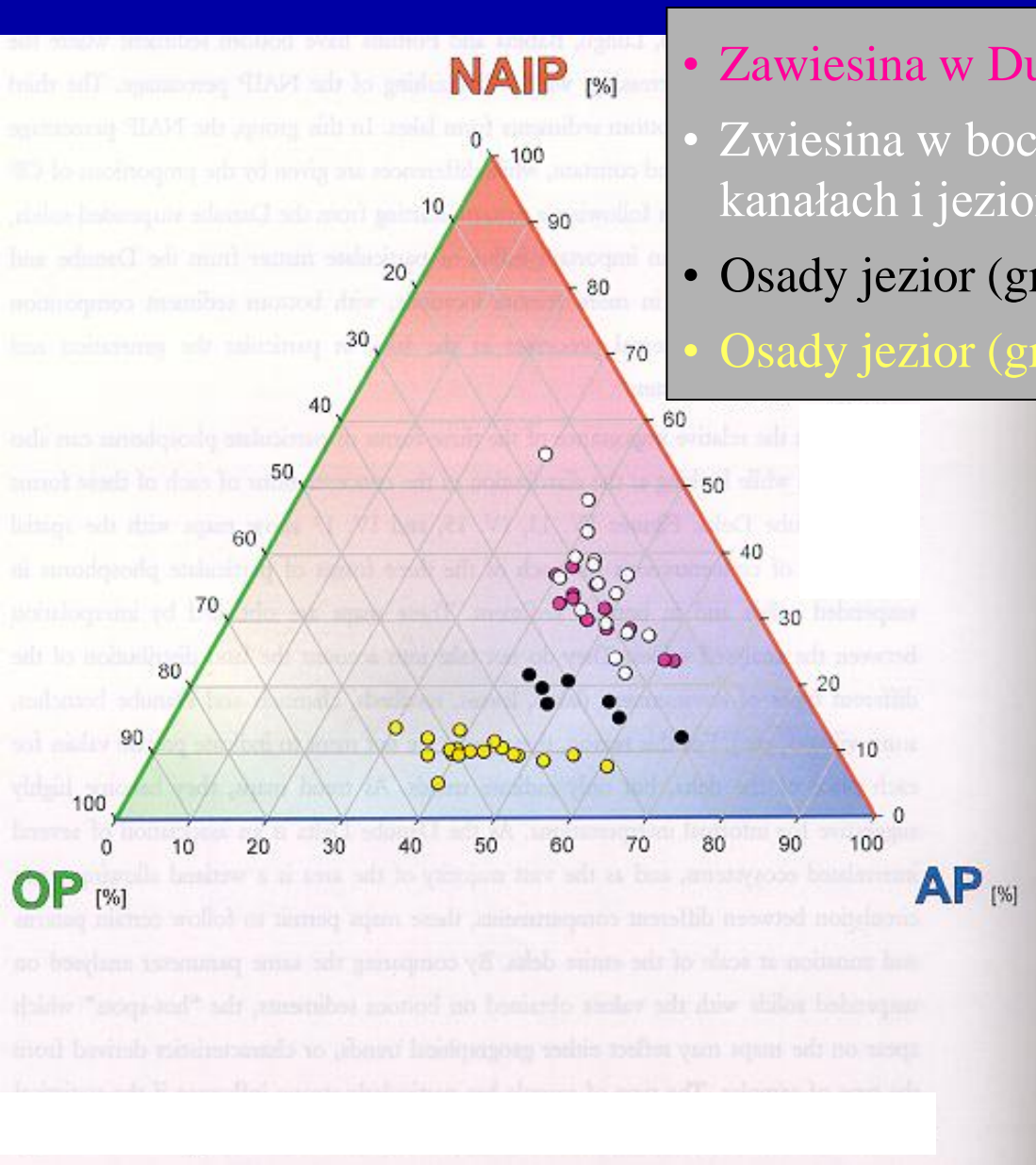


	OP	NAIP	AP
	%	%	%
Zima	30	14	56
Lato	10	7	83

Formy fosforu w zawieszinie w Rodanie w przekroju Porte du Scex (wg Burrus'a et al 1990)

Apatyt osadza się w Delcie Rodanu (detrytyczny). Występuje też w pobliżu ujścia ścieków miejskich (diagenetyczny)





Procentowy udział
form fosforu w
zawieszinie i osadach
Delt Dunaju
wg Bostan 'a (2001))

N (azot związany)

Naturalny:

- deszcz
- wiązanie przez bakterie z atmosfery
- N organiczny z gleby

Antropogeniczny:

- Rolnictwo i hodowla (nawozy),
- ścieki miejskie (odchody),
- spalanie paliw kopalnych (kwaśny deszcz)

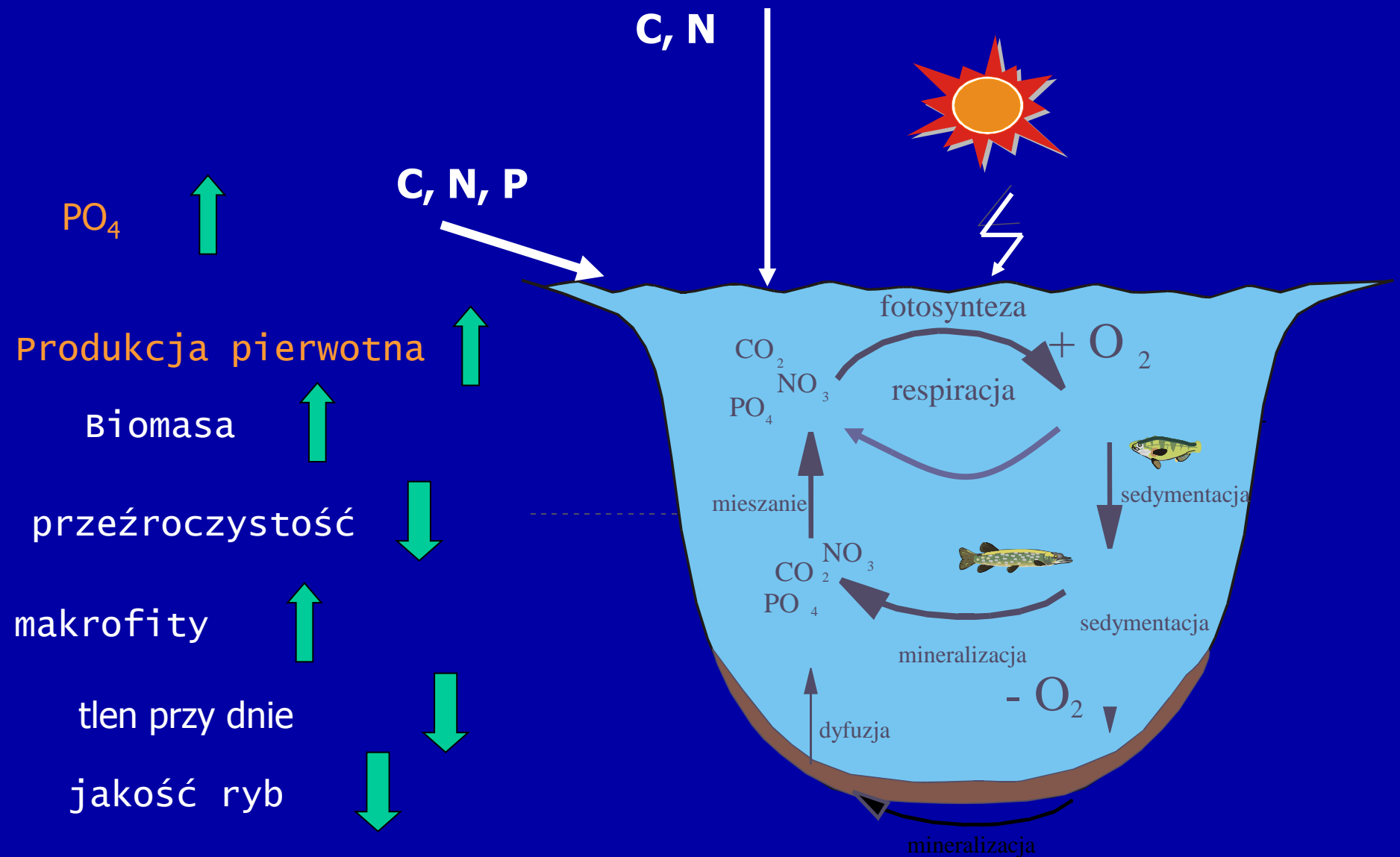
P

Naturalny:

- hydroliza minerałów (np. apatyt) ze skał magmowych i osadowych i złóż fosforu (fosforyty, guano)
- P organiczny z gleby i osadów

Antropogeniczny:

- Rolnictwo i hodowla (nawozy),
- ścieki miejskie (detergenty, odchody),
- ścieki przemysłowe



Konsekwencje eutrofizacji dla jakości wód śródlądowych

PO_4



Produkcja pierwotna



Biomasa



zapach i smak



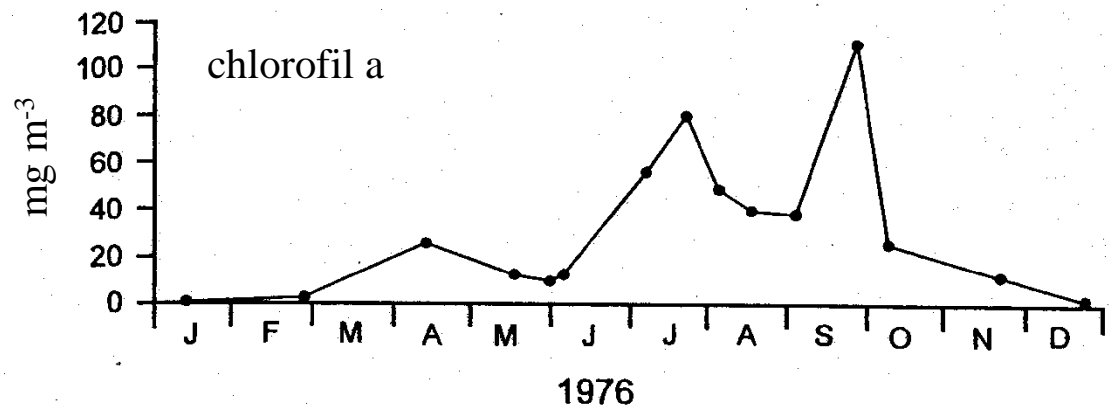
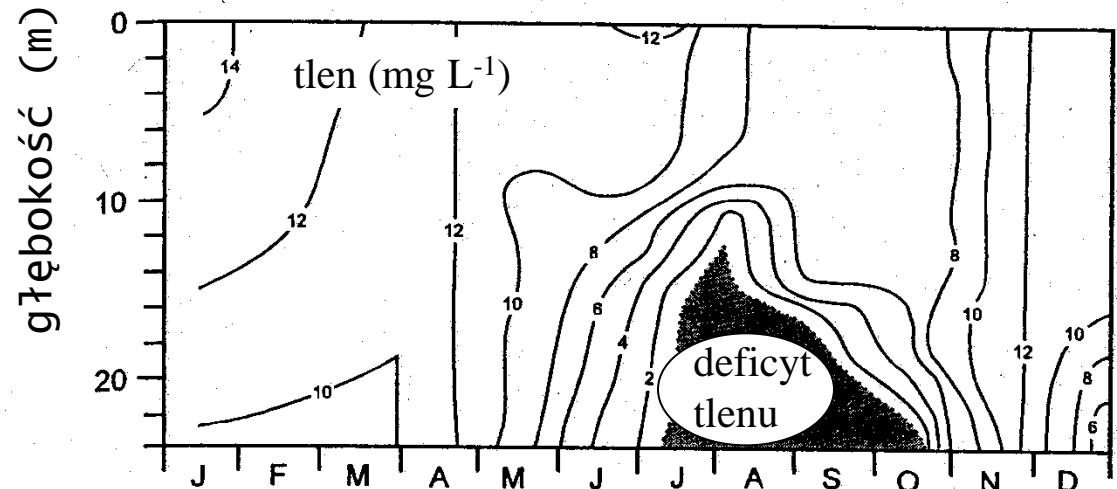
makrofity



tlen przy dnie

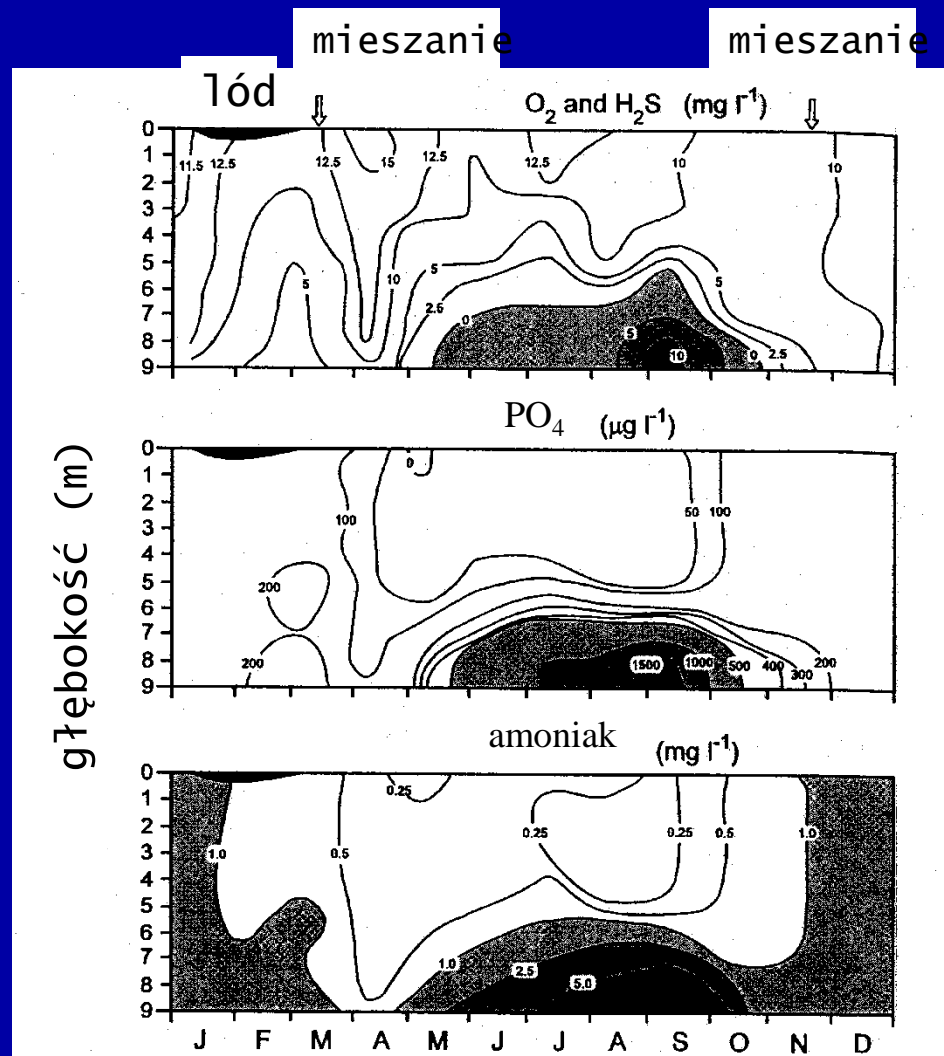
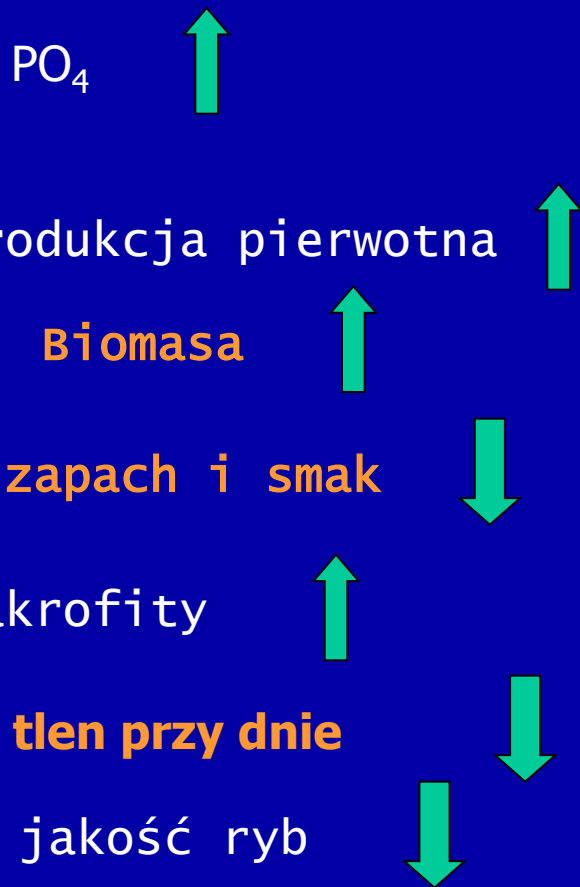


jakość ryb

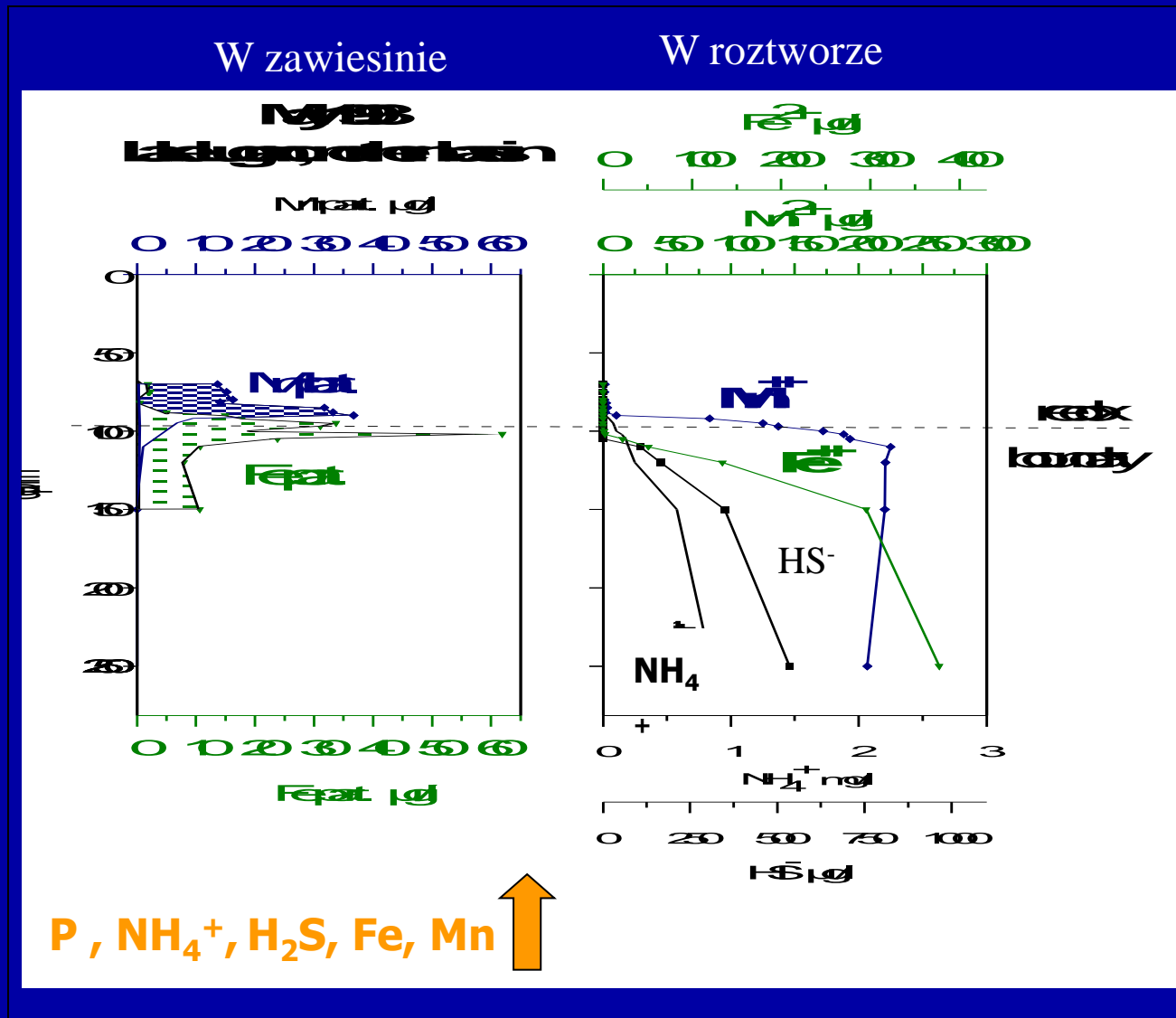


Zawartość tlenu i chlorofilu w Jeziorze Mendota w Minesocie, USA (wg ILEC 1987-89)

Konsekwencje eutrofizacji dla jakości wód śródlądowych



Izolinie ilustrujące cykl sezonowy tlenu, siarkowodoru, fosforanów i amoniaku w Heilingensee, Niemcy w roku 1987 (wg Adrian et al 1989).



PO₄



Prod. pierwotna



Biomasa



zapach i smak



makrofity



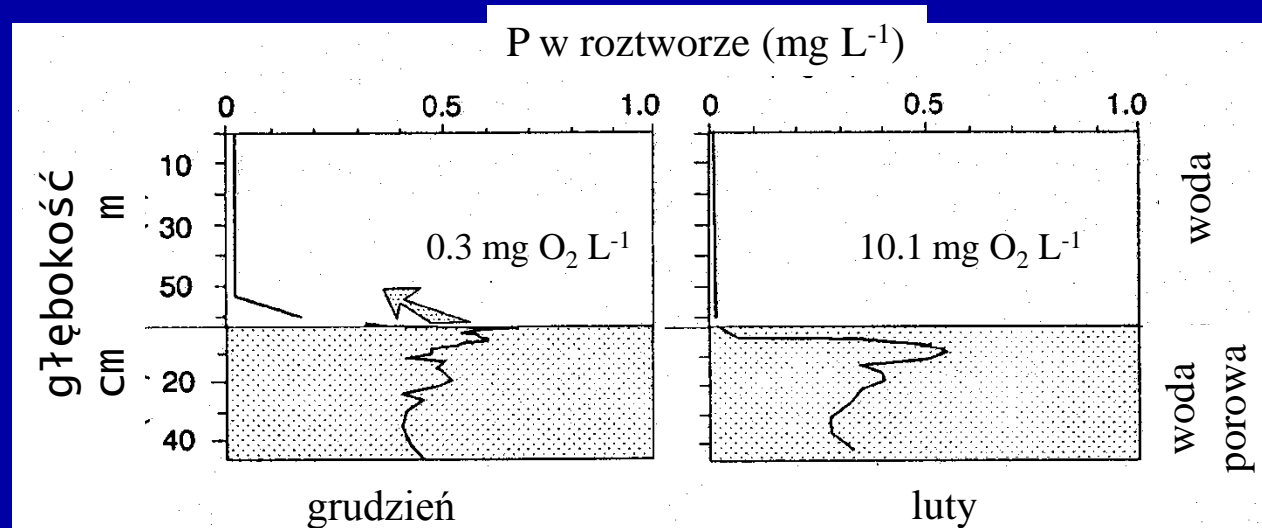
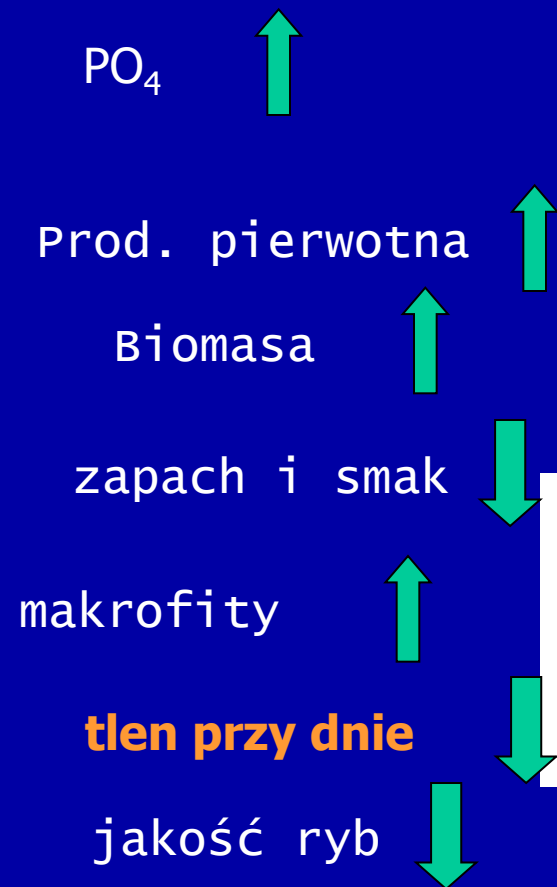
tlen przy dnie



jakość ryb



Osady jako źródło wewnętrzne fosforu w jeziorze



Zmiany sezonowe w zawartości fosforu całkowitego w roztworze w wodzie oraz w wodzie porowej osadów jeziora Annecy (Francja)



wg Span et al 1992

Konsekwencje eutrofizacji dla jakości wód śródlądowych

PO_4 ↑

Prod. pierwotna ↑

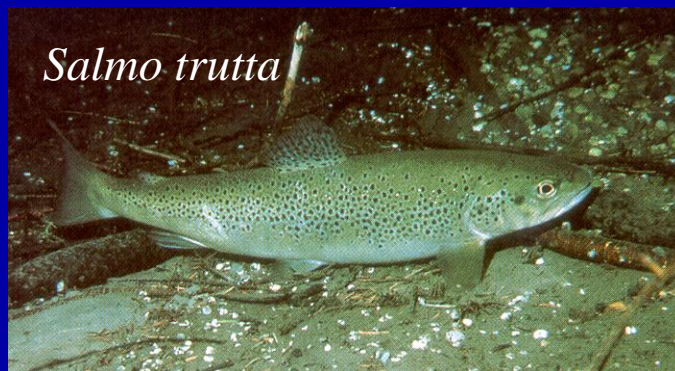
Biomasa ↑

zapach i smak ↓

makrofity ↑

tlen przy dnie ↓

jakość ryb ↓



pstrąg, lipień ↓

okoń, płóc, leszcz, karp ↑

Podsumowanie - wskaźniki

Kategoria troficzna	Średnia zawartość fosforu (mg m ⁻³)	Średnia zawartość chlorofilu (mg m ⁻³)	Maks. Zawartość chlorofilu (mg m ⁻³)	Średnia głębokość Secchi (m)	Min. głębokość Secchi (m)	Min. zawartość tlenu (% nasycenia)*	Dominujące ryby
Ultra-oligotrofia	4	1,0	2,5	12	6	>90	pstrąg
Oligotrofia	10	2,5	8	6	3	>80	pstrąg
Mezotrofia	10-35	2,5-8	8-25	6-3	3-1,5	80-40	okoń
Eutrofia	34-100	8-25	25-75	3-1,5	1,7-0,7	0-40	okoń. leszcz płoc. karp
Hiper-eutrofia	100	>25	>75	<1,5	<0,7	0-10	karp, płoc

* w warstwie przydennej

Wg Chapman (1996)

- Metody oceny jakości

Problem : Eutrofizacja jezior i zbiorników

Przyczyna : Namiar związków biogennych

Konsekwencja dla jakości wody :

- Zwiększona produkcja glonów, zakwity sinic
- Niedobór tlenu w hipolimnionie (poniżej termokliny)
- Uwolnienie szeregu substancji z osadu do wody (Fe, Mn, metale, amoniak, metan)
- Zmniejszenie się bioróżnorodności

Ocena jakości na różnych poziomach badań :

- I. Szacunek biomasy, ilość komórek fitoplanktonu, pomiar chlorofilu podczas stratyfikacji, pomiar przezroczystości.
- II. Częsta analiza forforu całkowitego i fosforanów, analiza fosforu w dopływach, profile parametrów fizyko-chemicznych z głębokością, profile tlenu rozpuszczonego, inwentaryzacja gatunków organizmów
- III. Pełne zbadanie bilansu związków biogennych (także w osadzie), trójwymiarowa analiza koncentracji Fe, Mn i innych metali.

Wnioski

- Ocena **ładunku fosforu** całkowitego jest najważniejszym wskaźnikiem w monitoringu eutrofizacji
- **Model Volenweider’a** jest najcenniejszym narzędziem diagnostycznym i prognostycznym systemu jeziornego
- Koncentracja fosforu w dopływach powinna być zredukowana poniżej **wartości progowej (krytycznej)** określonej przez model Volenweider’a
- Zmniejszenia ładunku fosforu jest osiągalne przez zredukowanie **źródeł punktowych** (konstrukcja i poprawa działania stacji oczyszczania, redukcja lub zakaz użycia fosforu w detergentach) i, w drugim etapie, **źródeł obszarowych** (zmniejszenie użycia nawozów i poprawne ich używanie, poprawne metody w rolnictwie)